

# Modelación de tiempos de detención de buses en paraderos de Santiago y Valparaíso-Viña del Mar

Alejandro Tirachini\*, Leonardo Camus, Diego Cruz

División Ingeniería de Transporte, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile

\* Autor para correspondencia:  
alejandro.tirachini@ing.uchile.cl

## RESUMEN

En este artículo se estiman modelos de tiempo de detención en paraderos y tiempos de subida y bajada de pasajeros en las ciudades de Santiago y Valparaíso-Viña del Mar (VVM), para distintos tipos de paradero, largo de buses, número de puertas y sistemas de pago de tarifa. Se analiza el efecto del nivel de ocupación (hacinamiento), de empezar la marcha con las puertas abiertas, de tener paraderos con pago extravehicular, de la existencia de un semáforo aguas abajo, de un fiscalizador de evasión y de personas que hacen preguntas al conductor. Se destaca que en un paradero con pago extravehicular, los tiempos marginales de subida estimados son 1,3, 0,7 y 0,5 segundos por pasajero para buses con dos, tres y cuatro puertas (aislando efecto del hacinamiento), respectivamente, y que en VVM, donde el pago es en efectivo al conductor y los buses tienen escalones, los tiempos de subida y bajada son aproximadamente el doble que aquellos en paraderos normales de Santiago.

Palabras clave: tiempo de parada, subida, bajada, zona paga, demoras.

## ABSTRACT

*We estimate bus stop times and passengers' boarding and alighting times in the cities of Santiago and Valparaíso-Viña del Mar (VVM) in Chile, for different bus stop types, bus length, number of doors and fare collection systems. We analyze the effect of different factors such that the bus occupancy level, off-board smartcard fare collection, a downstream traffic signal and the presence of a fare evasion inspector during the boarding process. We find that at off-board fare collection stops in Santiago, estimated marginal boarding times are 1.3, 0.7 and 0.5 seconds per passenger for buses with two, three and four doors, respectively, and that in VVM – where fare is paid with cash to the driver and buses have steps - boarding and alighting times are around double the times estimated in normal bus stops in Santiago.*

*Keywords: dwell time, boarding, alighting, off-board fare collection, delays.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El tiempo de detención de buses en paraderos representa una parte importante del tiempo total de operación de los vehículos de transporte público terrestre. Del total del tiempo de viaje de un recorrido de buses urbanos, el tiempo asociado a detenciones en paraderos se ha estimado del orden del 9 al 30 por ciento en diversas ciudades en los Estados Unidos (Levinson, 1983) y en Sydney (Tirachini, 2013) en sistemas con pago en efectivo al conductor. En Santiago, donde con el sistema Transantiago desde 2007 se cuenta con pago mediante una tarjeta electrónica, Gibson *et al.* (2015) estima tiempos de detención, en el eje Santa Rosa, entre

8,2% y 19,1% del tiempo total de viaje. De este tiempo en paradero, una parte significativa es tiempo por transferencia de pasajeros. Por lo tanto, entender cuáles son las distintas variables que afectan a este tiempo es valioso tanto para los operadores, al afectar su tiempo de ciclo y por lo tanto sus costos de operación, como para los usuarios, al afectar negativamente sus tiempos de viaje.

En el caso chileno, existen importantes diferencias entre los sistemas de transporte público urbano. El sistema de transporte público de Santiago, Transantiago, se caracteriza por tener integración tarifaria entre buses y Metro, buses de piso bajo y de mayor capacidad que en los sistemas de regiones. Además cuenta con un sistema de recaudación de tarifa mediante una tarjeta sin contacto (bip!) que se valida en dispositivos instalados en buses y algunas estaciones de pago extravehicular (usualmente llamadas *zonas pagas*).

En regiones, el servicio es generalmente realizado con buses de dos puertas, de piso alto con escalones en las puertas. La recolección de la tarifa es realizada por el conductor del vehículo, quien recibe dinero en efectivo. La operación en paraderos es usualmente menos formal que en Santiago, lo que se evidencia principalmente en una mayor cantidad de detenciones a lo largo de la ruta (independiente de si existe paradero o no), además de detenciones más largas y la existencia de detenciones múltiples en paraderos, a la espera de una posible llegada de más pasajeros. Esto, a su vez, conlleva una pérdida de eficiencia al aumentar el número de detenciones con una única operación (sólo una subida/sólo una bajada).

En este trabajo se estudian los tiempos de detención de buses en un conjunto de paraderos en las ciudades de Santiago, Valparaíso y Viña del Mar. El objetivo es identificar las variables que influyen significativamente en el tiempo de detención de los vehículos y estimar el efecto marginal de cada una de ellas. En el caso de Santiago, el foco está en analizar el efecto del número de puertas de los buses, la operación con zona paga versus paradero normal, la influencia de los niveles de ocupación de los y de los semáforos aguas abajo de los paraderos. Además de las zonas pagas, se analiza una de las denominadas Estación de Pago Extra Vehicular (EPEV) del corredor Departamental, inaugurado el año 2013, que corresponde a las estaciones de más alto estándar hechas a la fecha en la ciudad de Santiago. En el caso de Valparaíso-Viña del Mar (VVM), se obtiene el tiempo promedio de subida con pago en efectivo y buses con escalones, valor que puede compararse con el tiempo promedio de subida obtenido en Santiago, donde los buses son de piso bajo (al menos en su parte frontal) y el pago es con una tarjeta electrónica sin contacto. A partir de esta comparación, se puede dar una estimación de cuánto tiempo se podría ahorrar en la operación de los buses urbanos fuera de Santiago, si se cambia la tecnología de pago y diseño físico de los vehículos.

El artículo se organiza como sigue. En la sección 2 se hace una breve revisión de la teoría y los resultados obtenidos en la literatura sobre modelamiento de tiempos de detención de buses. En la sección 3 se explica el proceso de toma de datos y la labor experimental, para luego en la sección 4 presentar los modelos estimados y analizar los principales resultados. Finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones de este trabajo.

## 2. TIEMPO DE DETENCIÓN DE BUSES: ANTECEDENTES

Una herramienta adecuada para estimar los efectos de las distintas variables es la modelación del tiempo que un bus está detenido en la zona de parada como función de distintas variables. El enfoque más común planteado en la literatura para analizar este problema es el uso de regresión multivariada, ya sea con formas lineales como no lineales. Distintos enfoques han sido utilizados en la elección tanto de las variables dependientes como independientes, destacando el análisis de factores como el sistema de pago de tarifa, el número, ancho y altura de puertas, la presencia de escalones en las puertas, la edad de los pasajeros y el nivel de ocupación de paraderos, andenes y vehículos (Guenther y Hamat, 1988; Dueker *et al.*, 2004; Milkovits, 2008; Fletcher y El-Geneidy, 2013; Tirachini, 2013). En este contexto, la variable explicada puede corresponder al tiempo en que un bus está completamente detenido en la zona de parada (en adelante denominado *tiempo de detención*,  $T_{det}$ ), o bien el tiempo en que la puerta más utilizada está abierta sirviendo pasajeros (denominado *tiempo de servicio de pasajeros*,  $TSP$ ). A su vez, dos conjuntos de variables independientes han sido consideradas en estudios anteriores; aquellas relacionadas con la puerta más ocupada y que domina la detención (en adelante denominada puerta crítica) y aquellas relacionadas con los fenómenos que suceden en el bus completo (e.g. el total de personas que suben y bajan al vehículo). Esta diferenciación da origen a dos tipos de modelos. En caso de tratarse del primer conjunto de variables mencionado, y dado que el proceso de subida y bajada es simultáneo en el caso de Santiago y Valparaíso-Viña del Mar (VVM), el proceso puede ser modelado mediante:

$$T_{det} = c + \max_{(i=\text{puerta})} \{aA_i + bB_i\} \quad (1)$$

Donde la puerta  $i^*$  que ocupe mayor tiempo en el proceso de subida y bajada de pasajeros, será la puerta crítica.  $A_{i^*}$  es el número de personas que descienden por la puerta crítica,  $B_{i^*}$  el número de personas que aborda el vehículo por la puerta crítica y  $T_{det}$  el tiempo en que el bus está completamente detenido. En este caso,  $c$  representa todo tiempo muerto que no es explicado por la transferencia de pasajeros y, en general, es la suma del tiempo de apertura/cierre de puertas y el tiempo que necesita el conductor para verificar que todo está en orden antes de iniciar el movimiento. Los coeficientes estimados  $a$  y  $b$  representan el tiempo promedio de bajada y subida de los pasajeros en el vehículo. Por otra parte, si se trata del segundo conjunto de variables (tiempo de detención explicado por todos los movimientos), es posible modelar el proceso mediante:

$$T_{det} = c + aA_T + bB_T \quad (2)$$

Donde  $A_T$  y  $B_T$  son el total de personas que descienden y abordan el vehículo. Ambos modelos son de utilidad para estimar la contribución que genera un pasajero que aborda o desciende del vehículo, en el tiempo de detención de éste. En el caso de (1), se obtiene una estimación del *tiempo promedio* de subida y bajada, por pasajero por puerta (s/pax), mientras que de la estimación de (2) se desprende el *tiempo marginal* de subida y bajada (s/pax), vale decir, el aumento promedio del tiempo de detención de un bus producto de la subida o bajada de un pasajero extra. Es esperable que los modelos (2) son menos precisos que los modelos (1) por utilizar datos de todas las puertas, no sólo de la puerta crítica. Sin embargo, la existencia de buses de tres y cuatro puertas hace difícil la identificación de una puerta crítica cuando el conductor opera múltiples puertas en distintos instantes de tiempo, con traslapes parciales en el tiempo de apertura. El valor de los modelos tipo (2) es poder estimar valores marginales directamente, sin tener que hacer supuestos sobre el porcentaje de personas que usa la puerta crítica en un bus, además de entregar el efecto del número de puertas en los tiempos de subida y bajada.

En Chile se han hecho varios estudios de tiempos de detención para la ciudad de Santiago (Gibson *et al.*, 1997; Fernández *et al.*, 2008; Fernández *et al.*, 2010; Fernández, 2011), encontrándose valores para el tiempo muerto y los tiempos promedio de bajada y subida. Gibson *et al.* (1997) estima una misma especificación para dos tipos de segregación del andén de parada (completamente segregado y escasamente segregado del área de circulación de los peatones), la que viene dada por,

$$TSP = c_0 + c_1 \partial_1 + \max_i \{ (b + b' \partial_1 + b'' \partial_2) B_i + (a \exp(-a' A_i) + a'' \partial_3) A_i \} \quad (3)$$

Donde  $T_{det}$ ,  $B_i$  y  $A_i$  tienen el mismo significado explicado anteriormente, pero en este caso  $\partial_1$  toma el valor 1 si el andén está congestionado y 0 en caso contrario,  $\partial_2$  toma el valor 1 si al bus suben 4 o más pasajeros y 0 en caso que suban 3 o menos, y  $\partial_3$  toma el valor 1 si el bus va lleno y 0 en caso contrario. Este modelo es válido para el sistema antiguo de transporte público en superficie de Santiago, en el que el cobro de la tarifa lo realizaba el propio conductor, y los vehículos eran de dos puertas con escalones en cada una de ellas. En este contexto, en Gibson *et al.* (1997) se encontró un aumento notorio en el tiempo promedio de subida por pasajero cuando hay 4 o más usuarios intentando abordar, representado por  $b''$ , pues el conductor era capaz de poner en marcha el vehículo previo al cobro del pasaje de los usuarios hasta un cierto umbral determinado por la capacidad de almacenamiento del vehículo en el pasillo de acceso por la puerta delantera. En caso de haber 4 o más pasajeros intentando abordar, el conductor debía esperar a cobrar a un cierto número de personas antes de iniciar el movimiento.

Por otra parte, Fernández (2011) estima tiempos de subida y bajada por pasajero, para paraderos normales y zonas pagas en Transantiago. Un resumen de los resultados de Gibson *et al.* (1997) y Fernández (2011) se presenta en la Tabla 1. A diferencia de los estudios anteriores en Santiago, en este artículo se estiman, aparte de los tiempos promedio de subida y bajada, los tiempos marginales de subida y bajada para distintos tipos de paraderos y número de puertas en los buses, los que dan una indicación del real efecto en los tiempos de detención de tener buses con más puertas y estaciones con pago extravehicular.

### 3. DESCRIPCIÓN DE DATOS

El proceso de toma de datos consistió en realizar videograbaciones de las detenciones de los buses en las respectivas zonas de parada sobre varios días, intentando perturbar de la menor manera posible el fenómeno. Se requería contar con detenciones en las que se observara varianza suficiente en el número de subidas y bajadas y en los tiempos de detención, por lo cual la

toma de datos se realizó en los períodos punta de la mañana, punta de la tarde y fuera de punta. La lista de paraderos con la respectiva fecha, hora y número de observaciones realizadas se resume en la Tabla 2.

**Tabla 1: Principales resultados de estudios seleccionados, Santiago**

Coeficiente	Unidad	Gibson <i>et al.</i> (1997)		Fernández (2011)			
		Segregado	No segregado	Troncal		Alimentador	
				Zona paga	Validación en bus	Zona paga	Validación en bus
Tiempo muerto	[s]	--	1,17	4,74	11,47	3,01	4,71
Demora extra- andén congestionado	[s]	2,34	--	--	--	--	--
Tiempo promedio de subida	[s/pax]	2,99	3,48	1,75–2,15	1,08–1,71	2,09–2,29	2,65
Tiempo extra de subida por andén congestionado.	[s/pax]	0,40	0,34	--	--	--	--
Tiempo extra de subida si al bus suben más de 4 pasajeros.	[s/pax]	0,43	0,78	--	--	--	--
Tiempo promedio de bajada	[s/pax]	2,00	1,44	1,29	0,98	1,39	1,71
Parámetro exponencial negativa	[1/pax]	0,035	--	--	--	--	--
Tiempo extra de bajada si el bus va lleno	[s/pax]	1,14	0,76	--	--	--	--

**Tabla 2: Datos recolectados por tipo de paradero**

Tipo	Eje - Sentido	Código	Fecha	Hora	Obs
Normal	Av. Lib. Bernardo O'Higgins- Oriente	PA167	23/4/2014	08:00 – 10:00	125
		PA350	05/06/2014		
		PA598	11/06/2014		
Normal	Av. Manuel Antonio Matta- Poniente	PD564	23/12/2014	09:00 – 10:30	23
		PD60	08/01/2015	16:30 – 18:00	22
Zona Paga	Av. Nueva Providencia- Oriente	PC207	11/10/2013	08:00 – 10:00	94
			18/10/2013		
Zona Paga	Av. Manuel Antonio Matta- Poniente	PD564	17/12/2014	18:00 – 19:30	103
			18/12/2014		
EPEV	Av. Departamental- Poniente	PD1444	14/1/2014	07:30 – 09:30	97
			19/1/2014	18:30 – 20:00	
EPEV	Av. Departamental- Oriente	PE1410	20/1/2014	18:30 – 20:00	25
Viña – Valparaíso	Múltiples	--	15/01/2015 16/01/2015	07:30 – 09:30 18:30 – 20:30 16:30 – 18:00	233

La Tabla 3 muestra el promedio y la desviación estándar del número de subidas, número de bajadas y el tiempo de detención, para los distintos tipos de paraderos analizados. Las zonas pagas y la estación de pago extra-vehicular, EPEV, son tomadas como un solo tipo de paradero debido a las similitudes en sus características, tanto físicas como operacionales. Se observa que en Valparaíso-Viña del Mar (en adelante, VVM), el promedio de subidas y bajadas es menor a 2 personas por detención y el tiempo promedio de detención es 18,6 segundos, ligeramente inferior al tiempo de detención de los paraderos normales en Santiago (19,4 segundos), los cuales tienen una demanda promedio superior (3,3 subidas y 7,1 bajadas). Por otra parte, las zonas pagas y EPEV estudiadas tienen demandas considerablemente superiores y un tiempo de detención promedio de 31,6 segundos.

**Tabla 3: Promedio y variabilidad de variables relevantes**

Estadígrafo	Paradero Normal	Zona Paga + EPEV.	Viña / Valparaíso
Promedio subidas [pax]	3,3	18,3	1,8
Desv. Est. subidas [pax]	3,6	15,9	2,2
Promedio bajadas [pax]	7,1	8,6	1,9
Desv. Est. bajadas [pax]	5,5	11,4	2,5
Promedio tiempo detención [s]	19,4	31,6	18,6
Desv. Est. tiempo detención [s]	12,2	18,7	16,8

#### 4. TIEMPOS DE DETENCIÓN EN PARADERO: MODELACIÓN Y RESULTADOS

En esta sección se presenta una serie de modelos de tiempo de detención para los distintos tipos de paraderos analizados. Los modelos son de regresión lineal múltiple, estimados con el software estadístico SPSS.

##### 4.1 Santiago - Paradero normal

###### Modelo 1: tiempo de detención como función de la puerta crítica

$$T_{det} = (c_0 + c_1\gamma_{SPCA} + c_2\gamma_s + c_3\gamma_{pp} + c_4n_f + c_5\gamma_{>2}) + \max_i \{bB_i + aA_i\} \quad (4)$$

Donde,

$\gamma_{SPCA}$ : Igual a 1 si el vehículo inicia su movimiento con la puerta crítica abierta, 0 en caso contrario.

$\gamma_s$  : Igual a 1 si el vehículo está detenido por más tiempo de lo necesario debido a la influencia del semáforo, 0 en caso contrario.

$\gamma_{pp}$  : Igual a 1 si se observa que hay personas que hacen preguntas al conductor, 0 en caso contrario.

$n_f$  : Número de veces que se sube el fiscalizador (control evasión) por la puerta crítica.

$\gamma_{>2}$  : Igual a 1 si el bus tiene más de dos puertas, 0 en caso contrario.

$B_i$  : Número de personas que suben por la puerta  $i$

$A_i$  : Número de personas que descienden por la puerta  $i$

Los resultados de la estimación del modelo (4) se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4: Coeficientes modelo ecuación 4, paradero normal**

Coeficiente	Unidad	Valor	t
Constante ( $c_0$ )	s	10,77	6,25
Demora extra por salir con la puerta crítica abierta ( $c_1$ )	s	-3,49	-3,21
Demora extra de vehículo por semáforo ( $c_2$ )	s	11,26	6,60
Demora extra debido a personas que preguntan ( $c_3$ )	s	5,64	2,68
Demora extra por subida de fiscalizador ( $c_4$ )	s	7,07	5,46
Demora extra por ser bus de tres o cuatro puertas ( $c_5$ )	s	-3,93	-2,68
Tiempo promedio de subida ( $b$ )	s/pax	2,85	16,50
Tiempo promedio de bajada ( $a$ )	s/pax	1,08	7,26
R <sup>2</sup>	-	0,72	-

El tiempo muerto base en el paradero se estima en 10,77 segundos, el cual es influenciado significativamente por cuatro factores: existe un ahorro promedio de 3,5 segundos en los casos en que el conductor inicia la marcha sin cerrar la puerta crítica, además de tres fuentes de demora (es decir, aumento innecesario del tiempo de detención), las cuales son el efecto del semáforo (demora extra de 11,3 segundos en promedio), el efecto de las personas que preguntan (5,6 segundos) y las subidas y bajadas del fiscalizador de evasión (7,1 segundos), siendo el semáforo el de mayor magnitud. Esto pone de manifiesto la importancia que tiene el correcto diseño de la ubicación de los paraderos en cuanto a la cercanía de intersecciones semaforizadas. Un semáforo aguas abajo disminuye la capacidad de un paradero (Gibson y Fernández, 1996) al no permitir que algunos buses logren salir de la zona de detención una vez que termina la transferencia de pasajeros, o bien pues los conductores deciden permanecer detenidos con las puertas abiertas por más tiempo hasta que la luz del semáforo cambie a verde. En la Sección 4.2 se estudiará el efecto específico de la distancia entre el paradero y el semáforo, y el de la programación del semáforo.

Por otra parte, se encuentra que los buses de dos puertas, que corresponden a buses con puertas a ambos lados del vehículo (modelo de bus adquirido en 2013 por operadores de Transantiago) tienen una demora extra promedio de 3,9 segundos superior a los vehículos de tres y cuatro puertas. Esto se debe a que este tipo de bus está programado de forma tal que el vehículo abra sus puertas una vez que esté completamente detenido y empiece su movimiento cuando todas sus puertas estén completamente cerradas, lo que implica un aumento en el tiempo de detención para este tipo de bus. El tiempo de subida promedio encontrado es 2,85 s/pax, superior a valores reportados previamente en la literatura - típicamente entre 2,0 y 2,5 s/pax para subida con validación abordo de tarjeta sin contacto. Por ejemplo, Fernández *et al.* (2008) encuentra un valor 2,05 s/pax para servicios troncales de Transantiago si el número de pasajeros que aborda es menor a 40, mientras Fernández (2011) encuentra 2,65 como el tiempo de subida en servicios alimentadores. Es probable que en nuestro caso, la presencia de un fiscalizador de evasión en algunas de las observaciones (que aborda el vehículo y está junto a los pasajeros al momento de la validación de la tarjeta) tenga un efecto en aumentar el tiempo promedio de subida. Por otra parte, el tiempo de bajada es del orden de 1 segundo, en la cota inferior de valores reportados previamente para Santiago (Tabla 1).

### Modelo 2: tiempo de detención como función del total de personas que suben y bajan

$$T_{det} = (c_0 + c_1\gamma_{SPCA} + c_2\gamma_s + c_3\gamma_{pp} + c_4n_f) + bB_T + (a_0\gamma_2 + a'_0(\gamma_3 + \gamma_4))A_T \quad (5)$$

Donde las variables no definidas antes son las siguientes:

$\gamma_2$  : Igual a 1 si el bus es de dos puertas, 0 en caso contrario.

$\gamma_3$  : Igual a 1 si el bus es de tres puertas, 0 en caso contrario.

$\gamma_4$  : Igual a 1 si el bus es de cuatro puertas, 0 en caso contrario.

$B_T$  : Número total de personas que abordan al bus, sin considerar subidas del fiscalizador.

$A_T$  : Número total de personas que descienden del bus, sin considerar bajadas del fiscalizador.

La Tabla 5 confirma la existencia de tres fuentes de demora extra en paraderos normales en Santiago: el efecto de un semáforo aguas abajo, el efecto de las personas que hacen preguntas al conductor y las subidas y bajadas del fiscalizador, que pese a disminuir la evasión, es el segundo efecto más importante en los aumentos en los tiempos de detención, siendo el semáforo el de mayor magnitud. Por otra parte, iniciar la marcha con la puerta crítica abierta nuevamente es significativo en disminuir el tiempo de detención. El valor de los parámetros de estas cuatro variables binarias es muy similar entre los modelos de las Tablas 4 y 5. La constante  $c_0$  tiene una disminución a 6,7 segundos.

**Tabla 5: Coeficientes modelo ecuación (5), paradero normal**

Coeficiente	Unidad	Valor	$t$
Constante ( $c_0$ )	s	6,71	5,40
Demora extra por salir con la puerta crítica puertas abierta ( $c_1$ )	s	-3,28	-3,14
Demora extra de vehículo por semáforo ( $c_2$ )	s	11,50	6,98
Demora extra por existencia de personas que preguntan ( $c_3$ )	s	5,77	2,87
Demora extra por subida de fiscalizador ( $c_4$ )	s	7,17	5,88
Tiempo promedio de subida ( $b$ )	s/pax	2,35	16,43
Tiempo promedio de bajada – bus de dos puertas ( $a_0$ )	s/pax	0,99	7,21
Tiempo promedio de bajada – bus de tres o cuatro puertas ( $a'_0$ )	s/pax	0,54	5,60
$R^2$	-	0,75	-

En cuanto a las subidas y bajadas de pasajeros, se obtiene un tiempo marginal de subida de 2,35 s/pax, diferenciándose por 0,5 segundos con respecto al modelo que considera subidas por la puerta crítica solamente, lo que se explica por el efecto que generan las personas que abordan por las puertas traseras. Por otra parte, el modelo estima que en buses de tres y cuatro puertas, el tiempo marginal de bajada es medio segundo más corto, por pasajero, es decir, los tiempos de bajada se reducen aproximadamente a la mitad, relativo al caso de buses de dos puertas en que bajada es mayoritariamente sólo por una puerta. Más aún, los coeficientes asociados a las bajadas de ambos modelos debiesen cumplir con,

$$a \approx a_0 \quad (6)$$

$$\frac{a}{3} \leq a'_0 \leq \frac{a}{2} \quad (7)$$

Las expresiones (6) y (7) se obtienen dado que para buses de dos puertas las personas ocupan mayoritariamente la única puerta trasera para descender, mientras que para buses de tres y cuatro puertas las personas usan mayoritariamente las dos o tres puertas traseras para hacer este tipo de transferencia. De las Tablas 4 y 5, se puede corroborar que las relaciones anteriores se cumplen de manera aproximada, con  $|a - a_0| = 0,09$  [s] y que  $a'_0 = 0,535 \in \left[ \frac{a}{3}, \frac{a}{2} \right] = [0,358 ; 0,538]$ . Es importante notar que el tiempo promedio de bajada para los buses de tres y cuatro puertas está más cercano a su límite superior, indicación de que el comportamiento promedio de ambos tipos de buses se parece más al caso en que las personas ocupan sólo dos puertas para descender, produciéndose una subutilización de una de las puertas en el caso de los buses articulados. Para corroborar esta hipótesis, se analiza el nivel de utilización de puertas para la submuestra de buses articulados, lo que se entrega en la Tabla 6. Para efectos de notación, se asumirá que la numeración de las puertas va de adelante hacia atrás, es decir, la puerta 1 es la puerta delantera y la puerta 4 es la puerta trasera.

Se encuentra que la puerta 4 es utilizada en menos del 50% del total de observaciones, a diferencia de las puertas 2 y 3 utilizadas por la mayoría de las personas para descender, (56% y 76% de casos). Como la operación es, en general, ordenada, la puerta 1 es utilizada mayoritariamente por personas que suben y la puerta 3 es la más utilizada para descender del bus (las subidas por puertas traseras son casos probables de evasión en el pago). La menor utilización de la puerta 2 puede deberse a varios motivos,

dentro de los cuales se encuentra el hecho de que algunas empresas operadoras de buses limitan el uso de esta puerta, dejándola para uso exclusivo de personas con movilidad reducida. De las 28 observaciones de buses articulados en paradero normal, se observó cuatro casos en que personas con movilidad reducida descienden por la puerta 2. Por otra parte, para bajos niveles de ocupación de buses, característicos de nuestra muestra, muchas personas tienden a avanzar por el pasillo del bus y ubicarse cerca de la puerta 3. Es importante destacar que todas las mediciones de buses articulados fueron realizadas en paraderos de Alameda, donde solo se observaron vehículos pertenecientes a las unidades de negocio 2 y 4. El modelo de bus que utilizan estas empresas es de 18,5 m de largo, con piso bajo en todo el vehículo y con el motor detrás del conductor (cercano a la puerta 2), hecho que puede explicar la baja utilización de la puerta 2, debido a que se limita el espacio al interior del vehículo.

**Tabla 6: Total de casos por tipo de transferencia y puerta para bus articulado**

		Bus Articulado – Total de casos	% Utilización
Puerta 1	B_1>0	39	78,0%
	A_1>0	3	6,0%
Puerta 2	B_2>0	1	2,0%
	A_2>0	28	56,0%
Puerta 3	B_3>0	1	2,0%
	A_3>0	38	76,0%
Puerta 4	B_4>0	1	2,0%
	A_4>0	21	42,0%
Total de casos bus articulado = 50			

#### 4.2 Santiago - Estaciones con pago extravehicular (zona paga y estación de buses)

En esta sección se presenta un modelo que incluye las observaciones de zona paga y estación de buses (EPEV), que incluye tres nuevas variables explicativas: la densidad de pasajeros de pie dentro del bus, la razón de verde del semáforo aguas abajo y la distancia entre el paradero y el semáforo. La tasa de ocupación de los vehículos es estimada en terreno de forma aproximada; a la llegada de cada bus el observador debía asignar un número del 0 al 5, donde 0 se asigna a un bus completamente vacío y 5, a uno completamente lleno. Las tasas promedio de ocupación estimadas para cada nivel están reportadas en SECTRA (2013). A partir de los datos obtenidos, la escala de hacinamiento fue transformada (considerando capacidad del bus y número de asientos) en una escala de densidad de pasajeros de pie por metro cuadrado, como se muestra en la Tabla 7. Entre los niveles de ocupación 0 y 2, la densidad de pasajeros de pie es 0,0, debido a que en esos niveles de ocupación todos los pasajeros van sentados y no interfieren con la bajada o subida de personas.

**Tabla 7: Densidad estimada pasajeros de pie para distintos niveles de ocupación observados en terreno**

Nivel ocupación	Descripción	Densidad pasajeros parados [pax/m <sup>2</sup> ]	
		Bus 12 m	Bus 18,5 m
0	Vehículo vacío	0,0	0,0
1	Menos de la mitad de los asientos ocupados	0,0	0,0
2	Más de la mitad de los asientos ocupados	0,0	0,0
3	Menos de la mitad del pasillo con pasajeros de pie	0,7	1,6
4	Más de la mitad del pasillo con pasajeros de pie	2,3	3,4
5	Vehículo completamente lleno, pasajeros en las puertas	5,0	5,9

El modelo se especifica en la ecuación (8) y los resultados se reportan en la Tabla 8.

**Modelo 3: Tiempo de detención en estación de pago extravehicular**

$$\begin{aligned}
T_{det} = & c + p_2 \cdot D_{2p} + p_4 \cdot D_{4p} \\
& + (a + \theta_A \cdot \rho_H + \phi_2 \cdot D_{2p} + \phi_4 \cdot D_{4p} + \gamma_{hol} \cdot D_{hol} + \gamma_{gre} \cdot D_{gre}) \cdot A_T \\
& + (b + \theta_B \cdot \rho_H + \psi_2 \cdot D_{2p} + \psi_4 \cdot D_{4p} + \beta_{hol} \cdot D_{hol} + \beta_{gre} \cdot D_{gre}) \cdot B_T^{no-run} \\
& + (b_2 + \epsilon_2 \cdot D_{2p} + \epsilon_4 \cdot D_{4p} + \delta_{hol} \cdot D_{hol} + \delta_{gre} \cdot D_{gre}) \cdot B_T^{run} \\
& + e_1 \cdot D^{ex} + \theta_d \cdot 1/d + \theta_V \cdot V/C + ll_1 \cdot D_{llPcAb} + s_1 \cdot D_{saPcAb}
\end{aligned} \tag{8}$$

**Tabla 8: Coeficientes modelo ecuación (8)**

Coeficiente	Unidad	Valor	t
Constante (c)	s	16,25	6,37
Tiempo marginal de bajada (a)	s/pax	0,49	8,76
Tiempo adicional de bajada ZP Holanda ( $\gamma_{hol}$ )	s/pax	1,57	2,44
Tiempo marginal de subida de pasajeros que no corren (b)	s/pax	0,65	12,00
Tiempo adicional de subida debido al hacinamiento ( $\theta_B$ )	s/pax	0,05	2,59
Tiempo adicional de subida bus de dos puertas ( $\psi_2$ )	s/pax	0,67	4,11
Tiempo adicional de subida bus de cuatro puertas ( $\psi_4$ )	s/pax	-0,19	-3,10
Tiempo marginal de subida de pasajeros que corren ( $b_2$ )	s/pax	2,57	6,63
Tiempo adicional de subida bus de cuatro puertas ( $\epsilon_4$ )	s/pax	-1,55	-2,46
Demora promedio debido a la razón de verde ( $\theta_V$ )	s	-9,45	-3,03
Demora promedio debido a la distancia al semáforo ( $\theta_d$ )	s · m	6,50	5,01
Demora extra ( $e_1$ )	s	3,46	1,83
Demora extra por salir con alguna puerta abierta ( $s_1$ )	s	-6,49	-4,16
R <sup>2</sup>		0,72	

Se puede apreciar que existen factores que influyen directamente sobre el tiempo de detención, mientras que otros lo hacen indirectamente a través de la cantidad de pasajeros que sube o baja. En el primer grupo se encuentra el número de puertas en el bus ( $D_{2p}$ ,  $D_{4p}$ ), las demoras extra producto de factores externos como fiscalizadores o gente que hace preguntas al conductor, si el bus llega o sale con alguna puerta abierta ( $D_{llPcAb}$ ,  $D_{saPcAb}$ ), la distancia del paradero al semáforo aguas abajo (1/d) y la razón de verde del semáforo (V/C). Por otro lado, las subidas se ven afectadas por la densidad de personas en el bus y la cantidad de puertas de éste. Finalmente, para estimar el tiempo de subida se distingue entre usuarios que están en el paradero cuando llega el bus y los que llegan corriendo cuando ya todo el resto se ha subido, pues en terreno se observó que estos últimos tienen un tiempo de subida (intervalo entre pasajeros) mayor.

El efecto del hacinamiento resulta significativo en las subidas pero no en las bajadas. Esto se explica por las características de la demanda en los paraderos observados: en general existe un alto número de personas bajando al mismo tiempo en cada detención, luego el efecto del nivel de ocupación de los buses en entorpecer el proceso de bajada es poco perceptible, resultado distinto al encontrado por Fernández (2011), en donde el tiempo promedio de bajada llega a 5,9 s/pax para el nivel de ocupación 6 pax/m<sup>2</sup>, en una situación en que pocos pasajeros bajan en una detención y, por lo tanto, la bajada se ve entorpecida por pasajeros de pie que bloquean parcialmente el egreso por las puertas. Por otra parte, el efecto en las subidas es relativamente bajo, 0,05 s por pax/m<sup>2</sup>, luego, con una ocupación de 6 pax/m<sup>2</sup>, el tiempo de subida promedio aumenta en 0,3 s/pax.

En cuanto a la influencia del número de puertas, se consideró como base un bus de tres puertas, y se encuentran tiempos de subida (sin efecto de hacinamiento) de 1,32, 0,65 y 0,46 pax/s para buses con dos, tres y cuatro puertas, respectivamente. Para

el caso de los pasajeros que corren para alcanzar el bus, se determina un tiempo de subida 1,9 s/pax mayor. Finalmente, el parámetro negativo para la razón de verde señala que mientras mayor sea la razón de verde del semáforo aguas abajo, menor será el tiempo en promedio que se encuentre detenido un bus en el paradero. Por otro lado, el signo positivo para el inverso de la distancia entre el paradero y el semáforo es una cuantificación del efecto negativo de la cercanía de un semáforo a las demoras en paraderos. Notar que para el caso de paraderos aislados de intersecciones semaforizadas, se considera una distancia infinita, de forma tal que la demora por esta variable es cero.

### 4.3 Santiago - Efecto del número de puertas

Con el objetivo de estimar el efecto del número de puertas en los tiempos promedio de subida y bajada, se estimaron modelos lineales con la especificación dada por la ecuación (2) tanto para paradero normal como para zona paga y estación de buses. Los resultados se muestran en las Tablas 9 y 10.

**Tabla 9: Tiempos según número de puertas – Paradero normal.**

Coeficiente	Unidad	2 Puertas	3 Puertas	4 Puertas
		Valor		
Constante (c)	s	6,71	6,71	6,71
Tiempo promedio de bajada (a)	s/pax	0,99	0,54	0,54
Tiempo promedio de subida (b)	s/pax	2,35	2,35	2,35

En este modelo el número de puertas no influye en el tiempo muerto. Por otra parte, el tiempo promedio de bajada resulta ser menor para los buses de tres y cuatro puertas en comparación al bus con dos puertas (modelo con dos puertas a ambos lados del bus). Esto es razonable e interesante de analizar; los buses con puertas a ambos lados sólo cuentan con una puerta oficial para que los usuarios desciendan, ubicada en el sector central del vehículo, a la que los pasajeros deben acercarse desde la zona posterior en donde se ubica la mayoría de los asientos, lo que afecta al tiempo promedio de bajada en situaciones en las que hay un gran número de personas en el interior del vehículo. Por otra parte, los buses de tres puertas permiten que las personas se distribuyan de mejor manera entre las dos puertas oficiales utilizadas para la bajada de pasajeros (puertas 2 y 3). Sin embargo, no existe contribución en el tiempo promedio de bajada al pasar de buses de tres puertas al bus de cuatro puertas, es decir, las personas se distribuyen de tal forma que al menos una de las tres puertas oficiales para la bajada es sub-utilizada en los buses de cuatro puertas. Finalmente, como era esperable, el tiempo promedio de subida es independiente del número de puertas para el caso de paradero normal, pues las subidas se concentran en la puerta delantera.

**Tabla 10: Tiempos según número de puertas – Zona paga y estación de buses**

Coeficiente	Unidad	2 Puertas	3 Puertas	4 Puertas
		Valor		
Constante (c)	s	6,71	6,71	6,71
Tiempo promedio de bajada (a)	s/pax	0,49	0,49	0,49
Tiempo promedio de subida (b)	s/pax	1,32	0,65	0,46

Los resultados de la Tabla 10 indican que para el caso de estaciones con pago extravehicular, se encuentra que no hay beneficio en el tiempo promedio de bajada al aumentar el número de puertas en los buses. Esto se debe a que las personas utilizan mayoritariamente dos de las puertas para descender del bus, independiente del número de puertas que tengan disponibles para realizar dicha acción. Es posible que en paraderos y horarios de mucha demanda de bajada, se obtenga un mayor uso de las puertas en la bajada.

Por otra parte, el tiempo promedio de subida varía según el tipo de vehículo, disminuyendo a medida que aumenta el número de puertas. Este fenómeno se explica dado que en los paraderos observados las personas se distribuyen homogéneamente en el andén, de tal forma que utilizan, en promedio, todas las puertas que tienen disponibles para subir al bus.

#### 4.4 Valparaíso - Viña del Mar

En la Tabla 11 se presenta la lista de paraderos observados en Valparaíso y Viña del Mar (VVM), los tiempos de verde y ciclo de los semáforos aguas abajo y el número de observaciones en cada caso.

**Tabla 11: Tiempo de verde y ciclo en semáforos ubicados aguas abajo de paraderos, Valparaíso-Viña del Mar**

Ubicación.	Sentido.	V	C	V/C	Obs.
Av. Errázuriz, Estación Puerto (PMA)	Norte.	85	120	0,71	39
Av. Errázuriz, Estación Puerto (PTA)	Sur.	63	120	0,53	8
Av. Errázuriz, Estación Bellavista (PTA)	Sur.	79	120	0,66	31
Av. Brasil esquina Eleuterio Ramírez (PTA)	Poniente.	34	60	0,57	11
Condell esquina Bellavista (PMA)	Oriente.	77	120	0,64	41
Condell – Plaza Aníbal Pinto (PMA)	Oriente.	69	105	0,66	57
Valparaíso esquina Quilpué (FPA)	Oriente.	29	63	0,46	46

Tal como en la sección 4.1, se especifica un modelo en que las subidas y bajadas consideradas son solo las de la puerta crítica:

#### Modelo 1: tiempo de detención como función de la puerta crítica

$$T_{det} = (c_0 + c_1 \gamma_s + c_2 \gamma_t + c_3 \gamma_D) + \max_i \{bB_i + aA_i\} \quad (9)$$

Donde las variables tienen el mismo significado anterior y además,

$\gamma_t$  : Igual a 1 si se observa que el conductor decide esperar a que el último pasajero en abordar pague la tarifa.

$\gamma_D$  : Igual a 1 si se observa que el vehículo está detenido por más tiempo de lo necesario sin razón aparente.

Los resultados del modelo se muestran en la Tabla 12.

**Tabla 12: Coeficientes modelo ecuación (9), Valparaíso – Viña del Mar**

Coefficiente	Unidad	Valor	t
Constante ( $c_0$ )	s	-0,28	-0,28
Demora extra por semáforo ( $c_1$ )	s	16,21	10,84
Demora extra conductor espera a que último pague tarifa ( $c_2$ )	s	6,67	4,27
Demora extra injustificada ( $c_3$ )	s	12,15	5,61
Tiempo promedio de subida ( $b$ )	s/pax	5,18	17,40
Tiempo promedio de bajada ( $a$ )	s/pax	3,17	8,35
R <sup>2</sup>	-	0,73	-

La constante (tiempo muerto) resulta no ser significativa, lo que se explica porque los buses en su mayoría circulan con las puertas abiertas, disminuyendo los tiempos de detención en paradero. Un resultado similar se encontró en Santiago previo al inicio de Transantiago, con el sistema conocido como *micros amarillos* (Gibson *et al.*, 1997). En el caso de VVM, existen fuentes de demora distintas a las de Santiago, principalmente asociadas al hecho de que el conductor espere a que el último pasajero en abordar pague la tarifa (en efectivo), como también a detenciones extra relacionadas con la informalidad del sistema (conductor se mantiene detenido en la zona de parada esperando la posible llegada de pasajeros o bien debido a subidas de vendedores). Estas demoras son estimadas en 12,2 segundos en promedio.

El tiempo promedio de subida (5,2 s/pax) es alrededor del doble del encontrado en Santiago, debido principalmente a que la forma de recolección de la tarifa es a través de cobro en efectivo por parte del conductor y a que los buses tienen escalones en las puertas, a diferencia de los vehículos de piso bajo de Santiago. Desafortunadamente, los efectos de los escalones y del pago en efectivo no se pueden separar, pero este resultado entrega una estimación del tiempo que se puede ahorrar teniendo un sistema de pago con tarjeta sin contacto y buses sin escalones. En lo que refiere al tiempo promedio de bajada (3,2 s/pax), éste también resulta ser mayor que en Santiago, probablemente por el efecto de los escalones.

### Modelo 2 - tiempo de detención como función de subida y bajada en todas las puertas

En este modelo, se incluye las variables de programación del semáforo aguas debajo de cada paradero, con el fin de estimar su influencia en el tiempo de detención en paradero. En este caso, la distancia entre el semáforo y el paradero no se utiliza como variable debido a la informalidad de la operación en VVM, que hace que los buses se detengan en varios lugares distintos antes de un semáforo, sin necesariamente respetar los paraderos establecidos. El modelo se presenta en la ecuación (10) y los parámetros estimados en la Tabla 13.

$$T_{det} = c_0 + c_1 \gamma_t + c_2 \gamma_p + c_3 \gamma_l + c_4 \gamma_c + c_5 \left(\frac{V}{C}\right) + c_6 C + (b_0 + b_1 \rho_H) B_t + (a_0 + a_1 \rho_H) A_t \quad (10)$$

Donde las variables tienen el mismo significado anterior y además,

- $\gamma_p$  : Igual a 1 si se observan personas que hacen preguntas al conductor
- $\gamma_c$  : Igual a 1 si conductor decide esperar a las personas que corren hacia la puerta
- $V$  : Tiempo de verde
- $C$  : Tiempo de ciclo
- $\rho_H$  : Densidad de pasajeros al interior del vehículo

En la Tabla 13 se presenta un modelo con todas las variables candidatas a ser significativas, y otro solo con aquellas variables estadísticamente significativas al 95 o al 93% de confianza. Las variables razón de verde, tiempo de ciclo y demora extra por hacinamiento, resultaron no ser significativas. En el caso del hacinamiento, esto se debe a que la mayoría de las observaciones hechas en VVM tienen un bajo nivel de ocupación, por lo que no hay suficiente variabilidad en las observaciones en esta variable. En el caso de las variables de programación del semáforo, una posible explicación para su no significancia es también la poca varianza en las observaciones, especialmente de la variable razón de verde. Notar que este resultado no significa que el semáforo no tenga influencia, pues en el modelo de la Tabla 12 se encuentra una demora promedio de 16,2 segundos cuando los buses se quedan detenidos por más tiempo en un paradero, aprovechando la luz roja del semáforo aguas abajo. Los tiempos marginales de subida y bajada resultan ser 4,50 y 2,09 s/pax respectivamente, los que pueden ser comparados directamente con los valores de Santiago para buses con dos puertas, 2,34 y 0,99 s/pax para subida y bajada. Este resultado nuevamente apunta a que los tiempos de transferencia en VVM son del orden del doble que aquellos en Santiago, debido al efecto del pago con efectivo y los buses con escalones en VVM.

**Tabla 13: Coeficientes modelo ecuación (10), Valparaíso - Viña del Mar**

Coeficientes	Unidad	Modelo Inicial		Modelo Final	
		Valor	t	Valor	t
Constante ( $c_0$ )	s	13,33	1,91	4,66	4,49
Demora extra chofer espera último pague ( $c_1$ )	s	3,73	1,90	3,51	1,87
Demora extra por preguntas al conductor ( $c_2$ )	s	6,80	1,98	6,24	1,85
Demora extra injustificada ( $c_3$ )	s	10,62	3,95	10,87	4,13
Demora extra por esperar a los que corren ( $c_4$ )	s	0,34	0,12	-	-
Demora extra razón de verde ( $c_5$ )	s	-23,34	-1,40	-	-
Demora extra tiempo de ciclo ( $c_6$ )	s	0,056	0,93	-	-
Tiempo promedio de subida ( $b_0$ )	s/pax	4,37	10,12	4,50	12,66
Tiempo extra de subida por hacinamiento ( $b_1$ )	m <sup>2</sup> / pax-s / s/pax	0,068	0,24	-	-
Tiempo promedio de bajada ( $a_0$ )	s/pax	2,32	6,47	2,09	7,41
Tiempo extra de bajada por hacinamiento ( $a_1$ )	m <sup>2</sup> / pax-s / s/pax	-0,22	-1,35	-	-
R <sup>2</sup>	-	0,59	-	0,60	-

## 5. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado una serie de modelos para analizar los tiempos de detención en paraderos de buses de Santiago y Valparaíso-Viña del Mar (VVM). Los modelos son estimados con datos tomados en terreno en paraderos normales y estaciones con pago extravehicular, es decir las denominadas *zonas pagas* y una estación de buses del corredor Departamental en Santiago. Las variables analizadas son: tiempo de subida y bajada con diferentes configuraciones de buses (escalones versus piso bajo) y sistemas de pago (tarjeta Bip! versus pago en efectivo). Además se estudia el efecto del número de puertas, la existencia de un semáforo aguas abajo del paradero, el hecho de iniciar la marcha con las puertas abiertas, el nivel de ocupación de pasajeros en los buses, la existencia de un fiscalizador de evasión, de pasajeros que hacen preguntas al conductor, y de pasajeros que llegan corriendo a tomar un bus.

Con los resultados de este trabajo se pueden dar recomendaciones para la operación de paraderos en Santiago y ciudades de regiones en Chile. Para Santiago, se cuantificó el efecto en reducir el tiempo de detención atribuible a tener más puertas en un bus, tanto para paraderos normales como para aquellos con pago extravehicular, como zonas pagas y estaciones de buses, en los cuales los tiempos de subida disminuyen significativamente mientras más puertas tiene un bus. Los elementos principales que inducen demoras extra al tiempo de detención son los semáforos ubicados aguas abajo de un paradero y otras demoras producto de factores como la fiscalización para evitar la evasión. Se encontró el efecto que tiene la programación del semáforo y la distancia entre el semáforo y el paradero, en los tiempos de detención. Se requiere más investigación para estudiar el *tradeoff* que se produce al alejar un paradero aguas arriba de una intersección, pues en la práctica se debe buscar el equilibrio entre disminuir el efecto negativo de las intersecciones en las detenciones en paraderos, al mismo tiempo de no alejar demasiado los paraderos de una intersección si existe el riesgo de inducir cruces peatonales peligrosos a mitad de cuadra.

Para Valparaíso y Viña del Mar, las demoras extra están asociadas a los semáforos, la subida de vendedores y las esperas a potenciales usuarios que pueden llegar. Estos elementos (excluyendo al semáforo) están ligados directamente a la informalidad del sistema, el tipo de bus, y la forma en que se cobra la tarifa. Se encuentra que los tiempos de subida y bajada por pasajero en VVM son del orden del doble que aquellos en Santiago, lo que es una indicación de los beneficios potenciales en tiempo de viaje de no tener buses con escalones y el uso de una tarjeta sin contacto para pagar la tarifa en el resto de las ciudades de Chile, cuyos sistemas de transporte público son más parecidos al de VVM que al de Santiago.

En investigación futura, se requiere observar más paraderos con distintas condiciones, de manera de tener un mejor diagnóstico del efecto de variables cuyo impacto fue estimado solo de forma parcial en este trabajo, como es el caso del nivel

de ocupación (grado de hacinamiento) de los vehículos, en particular, cómo el volumen de pasajeros dentro de un vehículo interactúa con aquellos que quieren subir o bajar del bus. En el caso de Santiago, es deseable también determinar si la evasión en el pago de la tarifa tiene un efecto en los tiempos de detención. En este trabajo se pudo estimar el efecto de un inspector de evasión, pero no se pudo determinar si la presencia de pasajeros que evaden tiene un efecto significativo en los tiempos de subida a un bus.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el proyecto Fondecyt “Social effects and quality of service valuation of public transport services” (11130227) y el Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ICM P-05-004-F, CONICYT FBO16). Agradecemos a Ricardo Cubillos quien participó de la recolección de datos y el análisis inicial del paradero de Nueva Providencia y a dos árbitros anónimos cuyos comentarios nos permitieron mejorar este artículo.

## REFERENCIAS

- Dueker, K.J., Kimpel, T.J. y Strathman, J.G. (2004) Determinants of bus dwell time. **Journal of Public Transportation**, 7(1), 21-39.
- Fernández, R. (2011) Experimental study of bus boarding and alighting times. European Transport Conference, 10-12 Octubre 2011, Glasgow.
- Fernández, R., del Campo, R.M. y Swett, C. (2008) Data collection and calibration of passenger service time models for the Transantiago system. European Transport Conference, 6-8 Octubre 2008, Holanda.
- Fernández, R., P. Zegers, G. Weber y N. Tyler (2010) Influence of platform height, door width, and fare collection on bus dwell time: laboratory evidence for Santiago de Chile. **Transportation Research Record**, 2143, 59-66
- Fletcher, G. y El-Geneidy, A. (2013) The effects of fare payment types and crowding on dwell time: A fine-grained analysis. 92nd TRB Annual Meeting, 13-17 Enero 2013, Washington D.C.
- Gibson, J. y Fernández, R. (1996) Efecto de una intersección semaforizada aguas abajo sobre la capacidad de un paradero de buses con sitios múltiples. **Apuntes de Ingeniería**, 19(4), 31-40.
- Gibson, J., Fernández, R. y Albert, A. (1997) Operación de paraderos formales en Santiago. Actas del VIII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, 10-14 Noviembre 1997, Santiago, Chile.
- Gibson, J., Munizaga, M.A., Schneider C. y Tirachini, A. (2015) Median busways versus mixed-traffic: estimation of bus travel time under different priority conditions with explicit modelling of delay at traffic signal. 94th TRB Annual Meeting, 11-15 Enero 2015, Washington, D.C.
- Guenther, R.P. y Hamat, K. (1988) Transit dwell time under complex fare structure. **Journal of Transportation Engineering**, 114(3), 367-379.
- Levinson, H.S. (1983) Analyzing transit travel time performance. **Transportation Research Record**, 915, 1-6.
- Milkovits, M.N. (2008) Modeling the factors affecting bus stop dwell time: use of automatic passenger counting, automatic fare counting, and automatic vehicle location data. **Transportation Research Record**, 2072, 125-130.
- SECTRA (2013) Mediciones de aforos de tráfico y perfiles de carga en servicios troncales del Gran Santiago. Informe de DICTUC, Octubre 2013.
- Tirachini, A. (2013) Bus dwell time: the effect of different fare collection systems, bus floor level and age of passengers. **Transportmetrica A**, 9(1), 28-49.